

Modellbildung oder: Die Abstraktion des Bauwerks

Dinkler, Dieter

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 2009 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.91-95



J. Cramer Verlag, Braunschweig

Modellbildung oder: Die Abstraktion des Bauwerks*

DIETER DINKLER

Institut für Statik, Technische Universität Braunschweig

Modellbildung ist der Versuch, die Phänomenologie eines Prozesses zu verstehen und in Worten, Bildern oder mit der Mathematik zu beschreiben. Mit Hilfe von Modellen ist die Untersuchung von Prozessen allein mit Vorstellungskraft und in der Regel ohne experimentelle Studien möglich. Modellbildung erfolgt in allen Lebensbereichen und ermöglicht mit unterschiedlichen Abstraktionsstufen ein gemeinsames Verständnis der uns interessierenden Vorgänge in



Abb. 1: Rheintalbrücke bei Reichenau. [1]

* Der Vortrag wurde am 09.10.2009 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

Natur und Technik. Die Prozesse können physikalischer, chemischer, biologischer, sozialer oder anderer Natur sein. Im Bauwesen ist Modellbildung eine ganz grundlegende wissenschaftliche Methode, da unsere Bauwerke im Regelfall Unikate darstellen, für die experimentelle Studien viel zu aufwändig sind. Wir sind daher auf Modelle angewiesen, die je nach Aufgabenstellung einzelne oder mehrere Prozesse sowie deren Zusammenwirken mit unterschiedlichem Abstraktionsgrad beschreiben können.

Erste Modelle für die Beschreibung des Zusammenhangs zwischen den Einwirkungen und den Reaktionen des Bauwerks entstehen in der Renaissance. Die heute zur Verfügung stehenden Modelle sind vielschichtig und beliebig komplex und können bei Bedarf für unterschiedliche Lebensphasen eines Bauwerks eingesetzt werden.

Die Modellbildung beginnt bereits mit der Planung eines Bauwerks, wenn eine Bedarfsermittlung – z.B. für eine Brücke – sowie eine Finanzierbarkeitsstudie erfolgt. In Abb. 1 ist die Rheintalbrücke bei Reichenau dargestellt, an der man verschiedene Fragestellungen diskutieren kann.

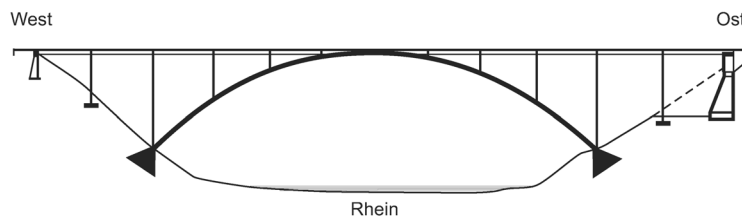


Abb. 2: Statisches System der Rheintalbrücke. [1]

Zunächst ist ein Geometriemodell möglich, das die Abmessungen und den prinzipiellen Aufbau der tragenden Teile des Bauwerks enthält. Für den Nachweis der Standsicherheit des Bauwerks müssen Modelle zur Verfügung stehen, die uns erlauben, das Trag- und Verformungsverhalten der Brücke im Betriebszustand beurteilen zu können, siehe Abb. 2 und 3. Dazu gehören auch Modelle, die den Lastabtrag beschreiben können, sowie Modelle für die Einwirkungen aus Eigengewicht, Verkehr, Wärme oder andere.

Ganz wesentlich ist die Beschreibung des Werkstoffverhaltens, wenn hiervon der Verformungs- und Spannungszustand abhängt. Dies beginnt mit dem Betonieren und dem Erhärten des Betons. Heute ist es mit Forschungsmodellen möglich, all die Prozesse, die beim Betonieren ablaufen mathematisch zu beschreiben und in der Quantität zu untersuchen. Dies sind u.a. Fließvorgänge und

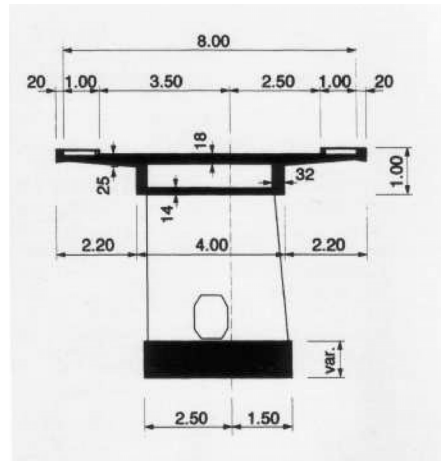


Abb. 3: Querschnitt der Rheintalbrücke. [1]

chemische Reaktionen, die Entwicklung des Wasserhaushaltes und der Wärme, die mit Hilfe geeigneter Parameter, Prozessvariablen und Modellgleichungen verknüpft sind. Die dabei zu lösenden Modellgleichungen sind oft nichtlinear und entziehen sich damit einer direkten Lösung, siehe [2].

Auch die während der Lebensdauer eines Bauwerks ablaufenden Prozesse sind im Einzelfall von Interesse, wenn z.B. die Gebrauchstauglichkeit eines Bauwerks hinterfragt wird, siehe [3]. So kann z.B. Kohlendioxid in den Beton diffundieren und eine Reaktionskette bis zur Karbonatisierung des Betons, zur Depassivierung und zur Korrosion des Bewehrungstahles initiieren. Abplatzungen sind die Folge.

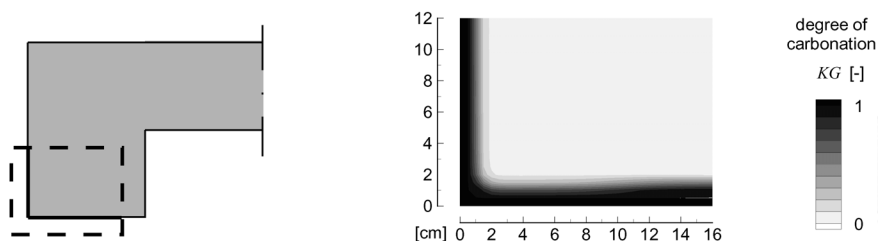


Abb. 4: Karbonatisierung einer Betonoberfläche. [3]

Auch die bisher in der Regel im Experiment abgesicherten Lastfälle können zunehmend mit numerischen Ansätzen untersucht werden. So findet z.B. im Brandfall eine physikalische und chemische Degradation des Betons statt, wenn durch die Wärmeentwicklung das chemisch gebundene Wasser freigesetzt wird und wenn die Betonoberfläche als Folge thermischer Dehnungen abplatzt, siehe Abb. 5.

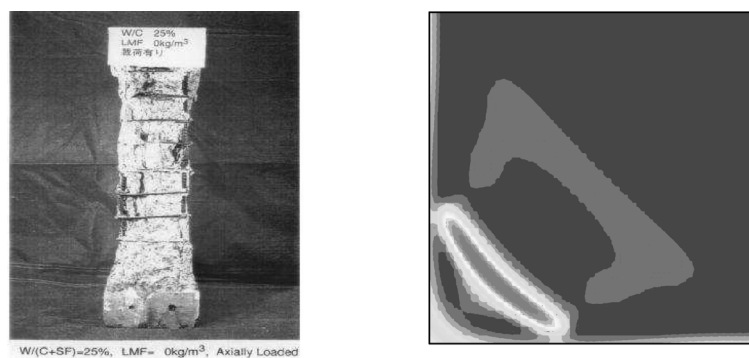


Abb. 5: Stahlbetonstütze nach Brandeinwirkung, iBMB Braunschweig, Schädigung.

Die hier vielschichtig interagierenden Prozesse erfordern komplexe Modelle, die verschiedene Disziplinen miteinander verknüpfen müssen, siehe [4]. So sind Transportprozesse für Wasser und Wärme mit den chemischen Reaktionen im Zementstein und mit der Festigkeitsentwicklung sowie den mechanischen Prozessen bis zum Abplatzen verknüpft.

Modellbildung findet auf verschiedenen Ebenen statt und erfolgt in der Regel den Erfordernissen entsprechend. Für Ingenieuraufgaben sind vereinfachende Ingenieurmodelle erforderlich, die die wesentlichen Phänomene erfassen und mit denen man schnell und sicher zu einer zuverlässigen Aussage gelangt. In der Grundlagenforschung sind detaillierte Modelle üblich, die die interessierenden Prozesse teilweise auch auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen beschreiben. Hier erfolgt bereits die Kopplung der Prozesse auf der Nano- und Mikrometerebene bis hin zur Makroebene, wenn geeignete Homogenisierungsverfahren zur Verfügung stehen.

Modellbildung ist jedoch nur der Anfang. Letztendlich besteht der Wunsch mit den Modellen arbeiten und Prozesse studieren zu wollen. Dies erfordert weitere Schritte, die die Lösung der Modellgleichungen ermöglichen sowie letztendlich den systematischen Einsatz des Modells für unterschiedliche Aufgabenstellungen zulassen.

Die Lösung der Modellgleichungen erfolgt heute in der Regel mit numerischen Verfahren, die sukzessive an die Leistungsfähigkeit moderner Rechenanlagen angepasst und weiterentwickelt werden. Modellbildung ist daher immer mit den zugehörigen Lösungsverfahren verknüpft, wenn die jeweiligen Vorteile des Lösungsverfahrens greifen sollen. Dies bedeutet, dass im Einzelfall der Transfer zwischen grundverschiedenen Beschreibungsarten gelingen muß. Es hilft wenig, wenn die genauen chemischen Reaktionen auf atomarer Ebene bekannt sind, aber die Einbindung in die Masseentwicklung eines Substrates und in die Festigkeitsentwicklung eines Werkstoffes auf makroskopischer Ebene der Bauteile nicht möglich ist.

Modelle werden für unterschiedliche Fragestellungen eingesetzt. Für den Entwurf eines Bauwerkes ist es ganz wesentlich, Prognosemodelle zur Verfügung zu haben, mit denen die Bauzustände und die zukünftige Entwicklung des Bauwerks virtuell untersucht werden können, bevor das Bauwerk errichtet ist.

Für die Zustandsanalyse eines mehrere Jahre alten Bauwerks ist oft eine inverse Modellierung erforderlich, wenn aus dem äußeren Zustand oder gemessenen Daten auf nicht messbare Zustandsgrößen im Inneren des Bauwerks geschlossen werden muß. Dies ist wichtig, wenn die Dauerhaftigkeit oder die während der Lebensdauer eines Bauwerks sinkende Zuverlässigkeit von Interesse sind.

Daher besteht der Wunsch, ganzheitliche Modelle zu entwickeln, mit denen die Zustandsentwicklung eines Bauwerks in jeder Phase der Lebensdauer verfolgt werden kann. Damit nicht alle Prozesse ständig vorgehalten werden müssen, sondern fallabhängig ansprechbar sind, müssen die Modelle adaptiv sein. Dies wiederum ist möglich, wenn es gelingt Leitprozesse und Leitvariable zu definieren, die sich über die gesamte Lebensdauer eines Bauwerks entwickeln, und jeweils Eingangsgrößen für räumlich und zeitlich begrenzte untergeordnete Prozesse sind.

Modellbildung ist so eine "conditio sine qua non" bei der Planung und Überwachung eines Bauwerks.

Literatur

- [1] MENN, C. (1997): Rheintalbrücke bei Reichenau, Birkhäuser.
- [2] TACKE, RAINER (2002) : Feuchte- und Festigkeitsentwicklung hydratisierenden Betons- Modellierung und numerische Analyse -, Dissertation, TU Braunschweig.
- [3] STEFFENS, ALEXANDER (2000): Modellierung und Chloridbindung zur numerischen Analyse der Korrosionsgefährdung der Betonbewehrung, Dissertation, TU Braunschweig.
- [4] OSTERMANN, L. & D. DINKLER (2007): Numerical simulation of the transport processes and the mechanical behaviour of concrete at high temperatures ECCOMAS Them. Conf. Comp. Meth. Tunn., Vienna, Austria.